10Є

УДК 004.8

Г.М. Єфімов
Таврійський державний агротехнологічний університет, Україна

Моделювання та розпізнавання мімічних проявів емоцій на обличчі людини

У роботі запропоновано цілісний підхід для моделювання та розпізнавання мімічних проявів емоцій на обличчі людини. Зроблено перехід від формального опису емоційних станів людини до опису мімічних проявів на обличчі. Фотографічні зображення, які відповідають певним емоційним станам, перетворюються у векторний простір мімічних проявів. Будується базис цього простору. Довільна емоція конкретної людини розпізнається як опукла комбінація станів отриманого базового простору.

Обличчя є своєрідним дзеркалом, у якому – більшою чи меншою мірою, відтворюється динаміка актуальних переживань людини. Завдяки цьому обличчя виконує сигнальну та регулятивну функції, виступаючи як один з каналів невербальної комунікації.

Останніми роками невербальна, мімічна поведінка людини стала предметом інтенсивних досліджень. Проведені дослідження дозволили запропонувати своєрідні «формули» деяких мімічних виразів. Тим самим був зроблений не тільки важливий крок на шляху строгого експериментального дослідження відображення експресії, але й була поставлена проблема диференційованості сприйняття міміки обличчя.

У роботі формальна психологічна модель емоцій, запропонована у [1], розширена для моделювання та розпізнавання мімічних проявів емоційних станів людини. Отримані результати можуть бути використані для моделювання інтелектуальної діяльності людини в системах штучного інтелекту як складові при розробці алгоритмів і програмно-апаратних засобів для систем комп’ютерного розпізнавання та відтворення (синтезу) зорових образів. Застосування запропонованого підходу дозволить створювати високоінтелектуальні мультимедійні технології і засоби для систем штучного інтелекту.

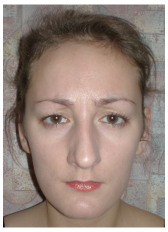
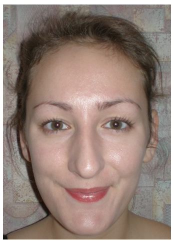
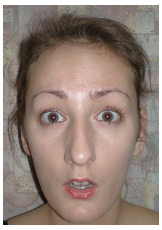
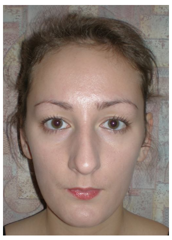
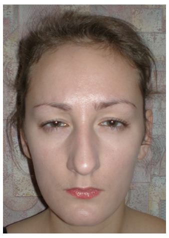
Для формалізації емоцій, щоб уникнути двозначностей при їх феноменологічному описі, пропонується перейти до вивчення ситуацій, в яких ці емоції виникають [1]. Тобто, при визначенні емоцій в найбільш загальному вигляді описується ситуація, в якій вони виникають. Розрізнятимемо назву емоції та її позначення. Під позначенням будемо мати на увазі вектор (Em) (тобто абстрактне поняття) з наступними ознаками:

$$Em_i^{\eta} = \left(\xi_1, \xi_2, \xi_3\right), i = 1 \cdots 8, \quad (1)$$

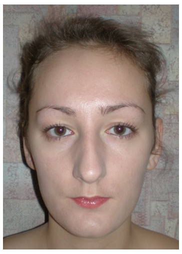
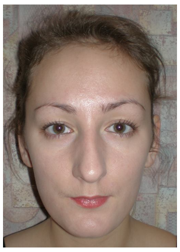
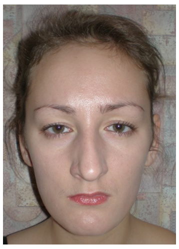
де ξ – бінарні ознаки, які класифікують емоції: ξ_1 – ознака, яка визначає знак емоції – позитивна (1) емоція чи негативна (0); ξ_2 – ознака, яка визначає час виникнення емоції відносно події (передбачувальна (0) та констатуюча (1) емоції); ξ_3 – ознака, яка визначає направленість емоції. За цією ознакою виділяють емоції, направлені на себе (1) та направлені на зовнішні об’єкти, на інших людей (0).

У табл. 1 наведено отримані в результаті досліджень описи ситуацій, у яких виникають базові емоції, відповідні їм фотографічні зображення та опис міміки, який характеризує ці стани.

Таблиця 1 – Фотоеталони базових емоцій

Базова емоція [13]	Психологічна ситуація, в якій виникає емоція (ξ_1, ξ_2, ξ_3)	Зображення емоції	Опис міміки в розрізі зон обличчя (1 – область чола й брів; 2 – область очей; 3 – нижня частина обличчя)
Горе	ξ1.= 0 – неможливість задоволення потреби. ξ2.= 1 – виникає після того, як відбулася неприємна подія. ξ3.= 1 – є переживанням втрати.		1. Внутрішні кутики брів підняті вверх. 2. Внутрішні кутики верхніх повік трохи підняті. 3. Рот закритий, кутики губ опущені, напруження або натягу в області роту немає.
Радість	ξ1.= 1 – потреба досягнута. ξ2.= 1 – виникає після задоволення потреби. ξ3.= 1 – є переживанням результату задоволення потреби.		1. Брови та чоло спокійні. 2. Верхні повіки спокійні, нижні повіки трохи підняті, але ненапружені; під нижніми повіками зморшки. Коло зовнішнього краю кутиків очей зморшки – «гусячі лапки». 3. Рот закритий, кутики губів відтягнуті в сторони та трохи підняті. Від носа до зовнішнього краю губів тягнуться зморшки – носогубні зморшки.
Страх	ξ1. = 0 – передчуття незадоволення потреби. ξ2. = 0 – передчуття втрати. ξ3. = 1 – боязнь за себе і свої потреби.		1. Брови підняті та зведені. Зморшки тільки в центрі чола; 2. Верхні повіки підняті так, що видно склеру, а нижні трохи підняті та напружені. 3. Рот розкритий, губи розтягнуті та напружені.
Надія	ξ1.= 1 – протилежна страху. ξ2.= 0 – є передчуттям задоволення особистої потреби (передчуття радості). ξ3.= 1 – направлена на себе.		1. Верхні кутики брів підняті вверх. 2. Верхні повіки трохи підняті; 3. – .
Гнів	ξ1. = 0 – негативна емоція. ξ2. = 1 – виникає після події, яка призвела до незадоволення потреби. ξ3. = 0 – направлений на об'єкт, який заважає досягненню мети.		1. Брови опущені і зведені, між бровами вертикальні зморшки. 2. Верхні повіки напружені, нижні повіки напружені і трохи підняті. 3. Рот закритий, губи затиснуті.

Продовж. табл. 1

Задово-лення	ξ1. = 1 – протилежне гніву за знаком. ξ2. = 1 – виникає після події. ξ3. = 0 – сигналізує, що потреба задоволена за допомогою конкретного об'єкта.		1. – . 2. – . 3. Кутики губ відтягнуті в сторони та трохи підняті.
Інтерес	ξ1.= 1 – задоволення потреби. ξ2.= 0 – передчуття задоволення потреби. ξ3.= 0 – направлений на об'єкт.		1. Брови трохи підняті, на лобі зморшка; 2. Повіки трохи розширені; 3. – .
Зневага	ξ1.= 0 – незадоволення потреби. ξ2.= 0 – передчуття незадоволення потреби. ξ3.= 0 – направлена на об'єкт.		1. Брови трохи підняті; 2. – ; 3. Кутики губ опущені. Обличчя витягнуте, голова піднесена, наче людина дивиться на когось згори; вона ніби відсторонюється від співрозмовника.

Для реалізації переходу від формальної психологічної моделі емоцій до формального опису мімічних проявів емоційних станів на обличчі запропоновано наступне:
– створення множини фотографічних зображень мімічних проявів на обличчі, які відповідають ситуаціям, у яких виникають базові емоції, опис міміки, властивої цим емоціям;
– аналіз отриманої множини з метою виявлення областей, які містять характеристичні ознаки емоцій та їх опис;
– створення у просторі характеристичних ознак базису для наступного розкладу по ньому довільних векторів мімічних проявів емоційних станів (як опуклої комбінації базисних емоційних станів).

В ході дослідження, при аналізі мімічних проявів у розрізі зон обличчя, було отримано 21 характеристичну ознаку, комбінація яких утворює базис мімічних проявів емоцій. Тобто мімічні прояви емоції (Em) були представлені у вигляді вектора:

$$Em_i^{\eta} = \left(\mu_1, \cdots, \mu_{21}\right), i = 1 \cdots 8 . \quad (2)$$

Тут $\mu_j \in [0;1]$ – характеристична мімічна ознака (при μ = 0 – немає ознаки, а при μ = 1 вплив ознаки максимальний); перелік ознак наведений в табл. 2.

Таблиця 2 – Ознаки для формування базових емоцій

Ознака	Опис мімічних проявів у розрізі областей обличчя			Базис емоційних станів B_{ij}							
	Область обличчя		Мімічний прояв	Радість	Горе	Надія	Страх	Задоволення	Гнів	Інтерес	Зневага
μ_1	Область чола і брів	Чоло	Зморшки в центрі чола	0	0	0	1	0	0	0	0
μ_2			Одна горизонтальна зморшка	0	0	0	0	0	0	1	0
μ_3			Між бровами горизонтальна зморшка	0	0	0	0	0	1	0	0
μ_4		Брови	Внутрішні кутики підняті вверх	0	1	1	0	0	0	0	0
μ_5			Опущені та зведені	0	0	0	0	0	1	0	0
μ_6			Трохи підняті	0	0	0	0	0	0	1	1
μ_7			Підняті та зведені	0	0	0	1	0	0	0	0
μ_8	Область очей (очі, повіки, основа носа)	Верхні повіки	Внутрішні кутики підняті	0	1	0	0	0	0	0	0
μ_9			Напружені	0	0	0	0	0	1	0	0
μ_{10}			Підняті (видно склеру)	0	0	0	1	0	0	0	0
μ_{11}			Трохи підняті	0	0	1	0	0	0	1	0
μ_{12}		Нижні повіки	Трохи підняті та ненапружені	1	0	0	0	0	0	1	0
μ_{13}			Трохи підняті та напружені	0	0	0	1	0	1	0	0
μ_{14}		Зморшки	«Гусячі лапки» біля зовнішніх кутиків	1	0	0	0	0	0	0	0
μ_{15}			Зморшка під повіками	1	0	0	0	0	0	0	0
μ_{16}	Нижня частина обличчя (ніс, щоки, рот)	Рот	Закритий, губи стиснуті	0	0	0	0	0	1	0	0
μ_{17}			Розкритий	0	0	0	1	0	0	0	0
μ_{18}		Губи (лінія, кутики)	Кутики губ відтягнуті в сторони та трохи підняті	1	0	0	0	1	0	0	0
μ_{19}			Розтягнуті та напружені	0	0	0	1	0	0	0	0
μ_{20}			Кутики губ опущені	0	1	0	0	0	0	0	1
μ_{21}		Зморшки	Зморшка від носа до кутиків губ	1	0	0	0	0	0	0	0

Набір восьми векторів утворює базис (B_{ij}, де i = 1,…,21, j = 1,…,8) простору мімічних проявів емоційних станів.

Таким чином, довільний вектор $b = (\mu 1,\dots,\mu 21)$, отриманий шляхом аналізу зображення з певним емоційним станом, можна розкласти по базису B і отримати опис емоції як опуклої комбінації:

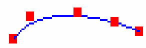
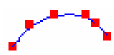
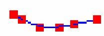
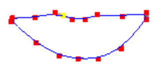
$$x = (B^T B)^{-1} B^T b, \qquad (3)$$

за умови: $\det(B^T B) \neq 0$, де B – базисна матриця емоційних станів (табл. 1); B^T – транспонована матриця B; b – вектор, який описує мімічний прояв довільного емоційного стану; $x = (\alpha_1,\dots,\alpha_8)$, де α_i – коефіцієнти опуклої комбінації ($\Sigma\alpha_I = 1$, $\alpha_i \in [0;1]$) для кожної з 8 базових емоцій.

У запропонованій в [2] моделі базис простору мімічних ознак емоційних станів будується на основі апріорного досвіду експериментатора, вимагає певної кваліфікації і, відповідно, дає неоднозначний результат – констатація одного і того ж емоційного м’язового прояву у різних людей розрізняється. Для того щоб перейти від феноменологічного визначення характеристичних мімічних ознак до певної їх формалізації, у [3] запропоновано використати власну модифікацію методу моделей, які деформуються. Як параметричні криві для виділення характерних ознак рис обличчя запропоновано використати моделі, які задаються за допомогою нерівномірних раціональних базисних сплайнів – NURBS-кривих [4], [5].

У рамках проведених досліджень була побудована модель, яка складається з гнучких шаблонів – NURBS-кривих. Виходячи з того, що опорні точки NURBS-кривої однозначно визначають саму криву, до розгляду брались тільки вектори опорних точок. Для побудови базису були використані наступні вектори опорних точок (табл. 3):

Таблиця 3 – Мімічні прояви для формування базових емоцій

<table>
<tr><th rowspan="2">ознака</th><th colspan="3">Опис мімічних проявів у розрізі областей обличчя</th><th colspan="2" rowspan="5">Для брів, очей та рота – вектори опорних точок p_i^j
Для зморшок – $\mu_j \in [0;1]$
(при μ = 0 – немає зморшки, а при μ = 1 зморшка максимальна)</th></tr>
<tr><th colspan="2">Область обличчя</th><th>Мімічний прояв</th></tr>
<tr><td>μ_1</td><td rowspan="7">Область чола і брів</td><td rowspan="3">Чоло</td><td>Зморшки в центрі чола</td></tr>
<tr><td>μ_2</td><td>Одна горизонтальна зморшка</td></tr>
<tr><td>μ_3</td><td>Між бровами вертикальна зморшка</td></tr>
<tr><td>μ_4</td><td rowspan="4">Брови</td><td>Внутрішні кутики підняті вверх</td><td rowspan="4">$p_i^1, i = 0 \cdots 4$</td><td rowspan="4">
Ліва брова</td></tr>
<tr><td>μ_5</td><td>Опущені та зведені</td></tr>
<tr><td>μ_6</td><td>Трохи підняті</td></tr>
<tr><td>μ_7</td><td>Підняті та зведені</td></tr>
<tr><td>μ_8</td><td rowspan="8">Область очей (очі, повіки, основа носа)</td><td rowspan="4">Верхні повіки</td><td>Внутрішні кутики підняті</td><td rowspan="4">$p_i^2, i = 0 \cdots 5$</td><td rowspan="4">
Ліва верхня повіка</td></tr>
<tr><td>μ_9</td><td>Напружені</td></tr>
<tr><td>μ_{10}</td><td>Підняті (видно склеру)</td></tr>
<tr><td>μ_{11}</td><td>Трохи підняті</td></tr>
<tr><td>μ_{12}</td><td rowspan="2">Нижні повіки</td><td>Трохи підняті та ненапружені</td><td rowspan="2">$p_i^3, i = 0 \cdots 5$</td><td rowspan="2">
Ліва нижня повіка</td></tr>
<tr><td>μ_{13}</td><td>Трохи підняті та напружені</td></tr>
<tr><td>μ_{14}</td><td rowspan="2">Зморшки</td><td>«Гусячі лапки» біля зовнішніх кутиків</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>μ_{15}</td><td>Зморшка під повіками</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>μ_{16}</td><td rowspan="6">Нижня частина обличчя (ніс, щоки, рот)</td><td rowspan="2">Рот</td><td>Закритий, губи стиснуті</td><td rowspan="5">$p_i^4, i = 0 \cdots 16$</td><td rowspan="5">
Губи</td></tr>
<tr><td>μ_{17}</td><td>Розкритий</td></tr>
<tr><td>μ_{18}</td><td rowspan="3">Губи (лінія, кутики)</td><td>Кутики губ відтягнуті в сторони та трохи підняті</td></tr>
<tr><td>μ_{19}</td><td>Розтягнуті та напружені</td></tr>
<tr><td>μ_{20}</td><td>Кутики губ опущені</td></tr>
<tr><td>μ_{21}</td><td>Зморшки</td><td>Зморшка від носа до кутиків губ</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

У [2], [3] запропонована математична модель та цілісна інформаційна технологія для автоматичного визначення довільного емоційного стану конкретної людини як опуклої комбінації деяких базових станів. Для цього за допомогою математичної моделі та оригінального програмного забезпечення створюється базовий простір емоційних станів конкретної людини. В подальшому довільний емоційний прояв цієї людини розкладається як опукла комбінація емоційних станів у цьому просторі. Але в цій моделі гнучкі шаблони налаштовувалися на прояв конкретної міміки за допомогою ручного редагування певної кількості параметрів – контрольних точок NURBS-кривих на поверхні зображення. Подальші дослідження у цьому напрямку були направлені на модифікацію методу контурних моделей, які деформуються. Для цілей автоматичного деформування моделей було запропоновано використовувати апроксимацію В-сплайн кривих [4].

Скористаємося властивістю NURBS-кривих, а саме: при $w_i = 1$ NURBS-крива зводиться до *B*-сплайн кривої. Дана властивість випливає з ідентичності опорних точок (p_i) в однорідній формі і рівності знаменника 1. Беручи до уваги, що при моделюванні гнучких шаблонів приймалося $w_i = 1$, то для спрощення апроксимації можна перейти до *B*-сплайн кривих.

Задача *B*-сплайн апроксимації є задачею підгонки *B*-сплайн кривої з *K* опорними точками $p = \left[p_0, \cdots, p_{K-1}\right]^T$ до точкової кривої $d = \left[d_0, \cdots, d_{M-1}\right]^T$, де *M* > *K* (зазвичай *M*>>*K*) для значень параметра $u_0, \cdots, u_{M-1}$. Така задача апроксимації приводить до перевизначеної системи лінійних рівнянь $N \cdot p = d$:

$$\begin{bmatrix} N_0(u_0) & \cdots & N_{K-1}(u_0) \\ N_0(u_1) & \cdots & N_{K-1}(u_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ N_0(u_{M-1}) & \cdots & N_{K-1}(u_{M-1}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_0 \\ \vdots \\ p_{K-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_0 \\ d_1 \\ \vdots \\ d_{M-1} \end{bmatrix}, \tag{4}$$

де $N_i(u)$ – *B*-сплайн базисна функція.

Одним зі шляхів отримання рішення перевизначеної системи лінійних рівнянь (4) є:

$$N^T N \cdot p = N^T \cdot d\,. \tag{5}$$

Звідки

$$p = \left(N^T N\right)^{-1} \cdot N^T d\,, \tag{6}$$

за умови, що

$$\det\left(N^T N\right) \neq 0\,. \tag{7}$$

Для застосування *B*-сплайн апроксимації потрібно вміти отримувати на зображенні точкові криві $d = \left[d_0, \cdots, d_{M-1}\right]^T$, які відповідають потрібним контурам, з тим, щоб далі застосувати перетворення (5) – (7).

Існує багато технологій для отримання на зображенні точкових кривих $d = \left[d_0, \cdots, d_{M-1}\right]^T$, які відповідають контурам брів, очей та рота. В основному вони базуються на отриманні контуру зображення як різкої границі між елементами зображення (за допомогою згорток, аналізу кольору тощо) з наступною скелетезацією (отриманням контуру одиничної товщини).

У даній роботі для оконтурення зображення пропонується застосувати імітацію роботи зорових рецепторів ока людини. Відомо [5], що очне яблуко знаходиться в безперервному мікрорусі. Питання про ці мікрорухи має неоднозначне трактування.

Можна передбачити, що ці мікрорухи є необхідною умовою функціонування апарата виділення контурів на зображенні. Для перевірки цього змусимо рецептори сітківки штучного ока зафіксувати запропоноване зображення, потім незначним чином (наприклад, на 1 точку) зсунемо зображення в бік, і знову дамо можливість рецепторам ока зафіксувати його. В цей момент на виходах рецепторів з'явиться відносна зміна сигналу. Візьмемо значення змін рецепторів та занесемо їх у відповідні точки на зображенні – отримаємо контури зображення (рис. 1).



Рисунок 1 – Зображення до та після оконтурення

Імітація вмісту рецепторів на сітківці ока проходить наступним чином. Є зображення та напрямок мікроруху (наприклад, діагонально на *M* точок). Спочатку конкретний рецептор «бачить» точку з координатами (*x,y*), а після мікроруху – з координатами (*x-M,y-M*). Різниця кольорових площин між вхідною точкою та точкою, яка виявилась на її місці в результаті мікроруху, – це і є відносна зміна вхідного подразливого сигналу (для конкретного рецептора).

Отримані таким чином контури потрібно привести до «скелетного» вигляду. Тобто потрібно виділити деяку середню лінію, яка б правильно відображала структуру контуру. Для цього застосуємо відомий алгоритм Зонга-Суня [6]. Отриманий таким чином «скелет» контуру губ зображено на рис. 2.

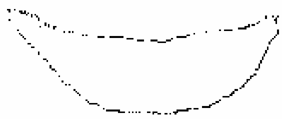


Рисунок 2 – Точкова крива губ, отримана після скелетизації контуру

Основна ідея алгоритму Зонга-Суня полягає в тому, що на кожному кроці проходженні по зображенню рамкою 3 × 3 перевіряється приналежність кожного пікселя до границі заданої зв'язної області. Якщо умови перевірки виконуються, то піксель вилучається з області. Незважаючи на кількість виконаних кроків, область залишиться зв'язаною, у крайньому випадку вона вироджується в лінію завтовшки в один піксель.

Для аналізу мімічних виразів емоцій запропонована наступна цілісна інформаційна технологія [2], [3]:

1) для конкретної людини отримуємо множину з восьми фотографічних зображень обличчя, на якому відтворена мімічна реакція на ситуації, які відповідають базовим емоціям: радість, горе, надія, страх, задоволення, гнів, інтерес, зневага;

2) у відповідному програмному забезпечені нормуємо фотографічні зображення (за відстанню між центрами очей);

3) за допомогою відомих технологій оконтурення та скелетування зображень отримуємо контури наступних частин обличчя: зморшки в області чола, брови, верхні повіки, нижні повіки, зморшки «гусячі лапки» біля зовнішніх кутиків очей, зморшки під повіками, рот, зморшки від носа до кутиків губ;

4) використовуючи гнучкі шаблони у вигляді NURBS-кривих [3] та B-сплайн апроксимацію, отримаємо множину опорних точок NURBS-кривої для шаблонів, які характеризують кожну з восьми базових емоцій (табл. 1):

$p_i^{1,(e)} = \left[x_i^{1,(e)}, y_i^{1,(e)}\right]^T, i = 0\ldots4, e = 1\ldots8$ – шаблон лівої брови для 8 емоційних станів;

$p_i^{2,(e)} = \left[x_i^{2,(e)}, y_i^{2,(e)}\right]^T, i = 0\cdots5, e = 1\ldots8$ – шаблон лівої верхньої повіки для 8 емоційних станів;

$p_i^{3,(e)} = \left[x_i^{3,(e)}, y_i^{3,(e)}\right]^T, i = 0\cdots5, e = 1\ldots8$ – шаблон лівої нижньої повіки для 8 емоційних станів;

$p_i^{4,(e)} = \left[x_i^{4,(e)}, y_i^{4,(e)}\right]^T, i = 0\cdots16, e = 1\ldots8$ – шаблон губів для 8 емоційних станів;

та для опису зморшок отримаємо деякі характеристичні мімічні ознаки (табл. 1):

$\mu^{(e)} = \left[\mu_1^{(e)}, \mu_2^{(e)}, \mu_3^{(e)}, \mu_{14}^{(e)}, \mu_{15}^{(e)}, \mu_{21}^{(e)}\right]^T, e = 1\ldots8$ – характеристичні мімічні ознаки (табл. 1);

5) з восьми отриманих множин опорних точок NURBS-кривих (шаблонів) та вектора характеристичних мімічних ознак для зморшок побудуємо базис емоційних станів (B) конкретної людини:

$$B = \begin{bmatrix} \mu^{(1)} & \cdots & \mu^{(8)} \\ \mathrm{P}^{1,(1)} & \cdots & \mathrm{P}^{1,(8)} \\ \mathrm{P}^{2,(1)} & & \mathrm{P}^{2,(8)} \\ \mathrm{P}^{3,(1)} & & \mathrm{P}^{3,(8)} \\ \mathrm{P}^{4,(1)} & & \mathrm{P}^{4,(8)} \end{bmatrix}, \quad \text{де} \quad \mathrm{P}^{j,(k)} = \begin{bmatrix} p_0^{j,(k)} \\ \vdots \\ p_{n_j}^{j,(k)} \end{bmatrix}, \text{де } \begin{matrix} j = 1\ldots4 \\ k = 1\ldots8 \\ n_1 = 4, n_2, n_3 = 5, n_4 = 16. \end{matrix} \tag{8}$$

В подальшому для аналізу довільного зображення обличчя цієї людини: повторимо пункти 1) – 4) для зображення довільної емоції та отримаємо вектор:

$$b = \begin{bmatrix} \mu^{(*)} \\ \mathrm{P}^{1,(*)} \\ \mathrm{P}^{2,(*)} \\ \mathrm{P}^{3,(*)} \\ \mathrm{P}^{4,(*)} \end{bmatrix}, \quad \text{де} \quad \mathrm{P}^{j,(*)} = \begin{bmatrix} p_0^{j,(*)} \\ \vdots \\ p_{n_j}^{j,(*)} \end{bmatrix}, \text{де } \begin{matrix} j = 1\ldots4 \\ n_1 = 4, n_2, n_3 = 5, n_4 = 16. \end{matrix} \tag{9}$$

Розкладемо його по побудованому базису B (8):

$$B^T B \cdot x = B^T \cdot b. \tag{10}$$

Отримаємо розв’язок

$$x = \left(B^T B\right)^{-1} \cdot B^T b, \tag{11}$$

за умови

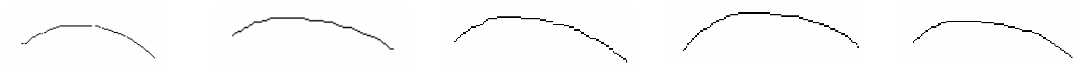
$$\det\left(B^T B\right) \neq 0. \tag{12}$$

Коефіцієнти розкладу $x = (\alpha_1,\ldots,\alpha_8)$ будуть вказувати на конкретний внесок кожної з восьми базових емоцій у довільну емоцію b.

Результати дослідження

За умови переходу від феноменологічного опису емоцій до ситуацій, у яких емоції виникають, була створена множина фотографічних зображень базових емоцій.

Далі з отриманих зображень виділялися описаними вище способами необхідні для подальшої обробки контури (брови, очі, губи тощо). Наприклад, на рис. 3 наведені отримані контури правої брови для емоцій: радість, горе, надія, страх, задоволення.



Радість Горе Надія Страх Задоволення

Рисунок 3 – Контури правої брови для деяких емоцій

На рис. 4 контури правої брови подані у вигляді точкової кривої.

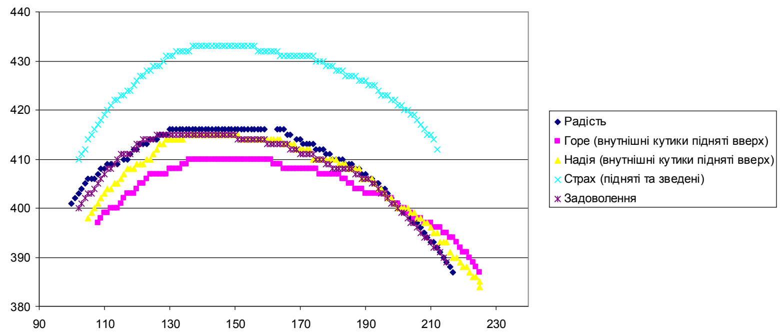


Рисунок 4 – Графік точкових кривих правої брови для деяких емоцій

На графіку видно, що положення отриманих контурів правої брови відповідають опису міміки емоцій. Тобто для емоцій задоволення та радості особливого прояву міміки немає, для емоцій горя та надії – внутрішні кутики підняті догори, а для емоції страху – брова піднята та зведена.

До отриманих контурів застосовувались перетворення (5) – (7) для отримання множин керуючих точок NURBS-кривих. На рис. 5 наведено графік контуру та відповідну цьому контуру NURBS-криву для положення правої брови при емоції радості.

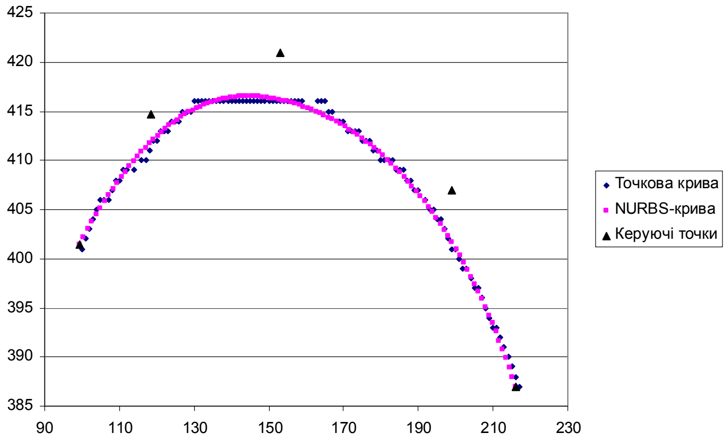
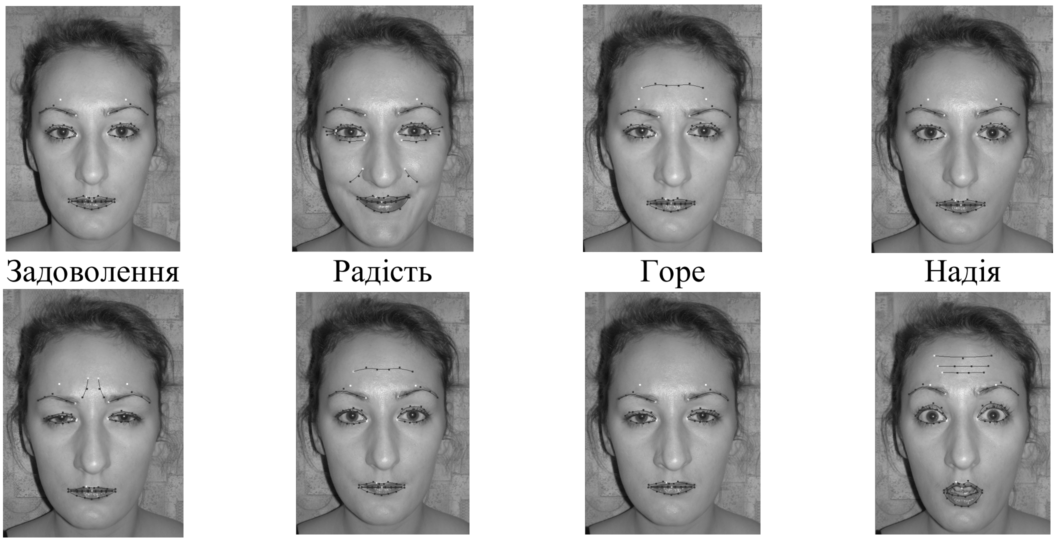


Рисунок 5 – Контур та відповідна NURBS-крива для положення правої брови при емоції радості

Рис. 6 містить результат прив'язки гнучких шаблонів (NURBS-кривих) до відповідних фрагментів обличчя для всіх базових емоцій.



Задоволення | Радість | Горе | Надія

Гнів | Інтерес | Зневага | Страх

Рисунок 6 – Зображення базових емоцій у контурному вигляді за допомогою NURBS-кривих для конкретного актора

З восьми отриманих множин опорних точок NURBS-кривих (шаблонів) та вектора характеристичних мімічних ознак для зморшок був побудований базис (8) емоційних станів (*B*) конкретної людини.

Аналогічним чином з фотографічного зображення довільної емоції, що відтворює ситуацію, у якій виникає відчуття провини (рис. 7), був побудований відповідний вектор *b* (9).

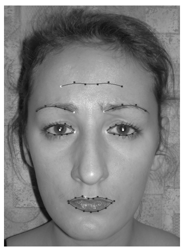


Рисунок 7 – Відтворення ситуації, у якій виникає емоція провини

Із застосуванням перетворення (10) – (12) був проведений розклад отриманого вектора *b* по базису *B*.

Для емоційного стану «провина» були отримані наступні коефіцієнти опуклої комбінації базових станів:

$$\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0.7, \alpha_3 = 0, \alpha_4 = 0, \alpha_5 = 0.3, \alpha_6 = 0, \alpha_7 = 0, \alpha_8 = 0, \sum_{i=1}^{8} \alpha_i = 1,$$

де α_i – відповідають наступним емоційним станам: радість, горе, надія, страх, задоволення, гнів, інтерес та зневага. Згідно з [1], стан, який складається з комбінацій задоволення ($\alpha_5 = 0,3$) та горя ($\alpha_2 = 0,7$) відповідає емоції «провина».

Висновки

Запропонована математична модель та цілісна інформаційна технологія для автоматичного визначення довільного емоційного стану конкретної людини, як опуклої комбінації деяких базових станів. Для цього, з допомогою математичної моделі та оригінального програмного забезпечення, створюється базовий простір емоційних станів конкретної людини. В подальшому довільний емоційний прояв цієї людини розкладається як опукла комбінація емоційних станів в цьому просторі.

Для побудови базису простору емоційних станів використовуються гнучкі шаблони контурів основних зон обличчя. Гнучкі шаблони представлені за допомогою NURBS-кривих. Налаштування шаблона на точковий контур конкретного зображення проходить за допомогою *B*-сплайн апроксимації шляхом розв'язку перевизначеної неоднорідної системи лінійних рівнянь.

Запропонована технологія має практичну цінність в системах візуального контролю за емоційним станом людини у багатьох сферах людської діяльності, де вимагається велика зосередженість і необхідно приймати рішення в режимі реального часу (транспорт, безпека і т.п.). Подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення методів і алгоритмів автоматичного розпізнавання емоційних проявів на обличчі людини.

Література

1. Леонтьев В.О. Классификация эмоций / Леонтьев В.О. – Одесса : Инновационно-ипотечный центр, 2002. – 84 с.
2. Крак Ю.В. Синтез мімічних виразів емоцій на основі формальної моделі / Ю.В. Крак, О.В. Бармак, Г.М. Єфімов // Штучний інтелект. – 2007. – № 2 – С. 22-31.
3. Кривонос Ю.Г. Моделювання та аналіз мімічних проявів емоцій / Ю.Г. Кривонос, Ю.В. Крак, О.В. Бармак, Г.М. Єфімов // Доповіді НАНУ. – 2008. – № 12 – С. 51-55.
4. Piegl L. The NURBS Book / Les Piegl, Wayne Tiller. – [2nd Edition]. – Berlin : Springer-Verlag, 1996. – 646 p.
5. Демидов В.Е. Как мы видим то, что видим / Демидов В.Е. – М. : Знание, 1987. – 240 с.
6. T.Y. Zhang A fast parallel algorithm for thinning digital patterns / T.Y. Zhang, C.Y. Suen // Commun. ACM. – 1984. – № 3, Vol. 27 – P. 236-239.
7. Boor C. A Practical Guide to Splines / Boor C. – New York : Springer-Verlag, 1978. – 392 p.

Г.М. Ефимов
Моделирование и распознавание мимических проявлений эмоций на лице человека
В работе предложен целостный подход для моделирования и распознавания мимических проявлений эмоций на лице человека. Сделан переход от формального описания эмоциональных состояний человека к описанию мимических проявлений на лице. Фотографические изображения, которые отвечают определенным эмоциональным состояниям, превращаются в векторное пространство мимических проявлений. Строится базис этого пространства. Произвольная эмоция конкретного человека распознается как выпуклая комбинация состояний полученного базового пространства.

G.M. Efimov
Emotional Mimic Modelling and Recognition for the Human Face
The complete approach for mimic modelling and recognition for the human face has been suggested. A correspondance between formal descriptions of emotions and emotional expressions with mimics has been established. Pictures that represent various emotional states are translated into the vector space of mimic expressions. A basis of the vector space is constructed. Custom human emotional mimics is recognized as a convex combination in the basis of emotional mimic expressions.

Стаття надійшла до редакції 10.07.2009.